Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 34, No. 3, Fall 2020, p. 305-323

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۳۲۳-۳۰۵

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر کشاورزی دشت همدان-بهار با تأکید بر بهره‌وری آب و امنیت غذایی

فاطمه معززی[1]*- غلامرضا یاوری[2]- سید حبیب الله موسوی[3]- مهرداد باقری[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۴

چکیده

هدف مطالعه‌ی حاضر ارزیابی اقتصادی اثرات تغییرات اقلیم بر کشاورزی دشت همدان-بهار است. در این راستا ابتدا متغیرهای بارندگی و دما در افق ۲۰۷۰ تحت سناریوهای B1، A2، RCP2.6 و RCP8.5 پیش‌بینی شد و سپس با برآورد تابع واکنش عملکرد به روش ماکزیمم آنتروپی تعمیم‌یافته (GME) و اندازه‌گیری تغییرات عملکرد ناشی از پارامترهای آب و هوایی و لحاظ آن در یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)، اثرات تغییر اقلیم بر الگوی کشت منطقه، الگوی کشت محصولات غذائی اساسی، سود ناخالص کشاورزان، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و امنیت غذایی ارزیابی گردید. نتایج حاکی از افزایش دما، کاهش بارش، کاهش عرضه منابع آب و متعاقب آن کاهش عملکرد اکثر محصولات استراتژیک و افزایش عملکرد برخی محصولات سبزی و صیفی در تمامی سناریوها است. بعلاوه وقوع پیامدهای فوق دارای آثار منفی بر مقدار تولید کل محصولات، مقدار تولید محصولات استراتژیک و سود ناخالص کشاورزان منطقه است و در این راستا در بدبینانه‌ترین سناریو در افق ۲۰۷۰، زیانی به میزان ۴۹۰ میلیاردریال به کشاورزان تحمیل خواهد کرد. افزایش بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در سناریوهای مختلف، نشان از ارزشمندشدن آب به دنبال کاهش کمیت آب در اثر تغییرات اقلیمی است. بنابراین وقوع تغییرات اقلیمی با متأثرکردن منابع آب، عملکرد محصولات، سطح زیرکشت، تولید مواد غذایی و در نهایت درآمد کشاورزان علاوه بر تحمیل زیان‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، ابعاد مختلف امنیت‌غذایی مانند در دسترس‌بودن موادغذایی، دسترسی، ثبات و استفاده از موادغذایی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. بر همین اساس جهت حفظ و بهبود عملکرد و همین‌طور کاهش زیان‌های احتمالی بر درآمد و امنیت‌غذایی منطقه، اتخاذ راهبردهای مناسب و سازگار با تغییرات آب و هوایی از جمله استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری، روش‌های کم‌آبیاری و اصلاح الگوی کشت با انتخاب محصولات با ارزش بالاتر برای افزایش بهره‌وری آب، بهبود مدیریت منابع آب و درآمد کشاورزان در سطوح گیاه، مزرعه و منطقه ضروری است.

واژه‌های کلیدی: الگوی کشت، امنیت غذایی، برنامه‌ریزی ریاضی مثبت، بهره‌وری آب، تغییر اقلیم، دشت همدان-بهار

مقدمه

توسعه اجتماعی و اقتصادی به دسترسی و مدیریت پایدار منابع آب بستگی دارد. تولیدات موادغذایی به دسترسی به آب در یک مکان و زمان خاص متکی است و این دسترسی نیز تحت تاثیر شرایط اقلیمی قرار دارد (۱۹). در سال‌های گذشته، اثرات بالقوه تغییرات اقلیمی بر دسترسی به آب، توجه سیاسی، اجتماعی و اقتصادی را افزایش داده است. علی‌رغم سطوح عدم‌حتمیت در میزان و جهت تغییرات اقلیمی، انتظار می‌رود که بر دسترسی به منابع آب، فعالیت‌های کشاورزی، انسان و عملکرد اکوسیستم‌ها، از جمله مناطق گرمسیری، تأثیر داشته باشند (۱۱ و ۶۲). بنابراین تغییرات اقلیمی با تغییر الگوهای بارش، شدت، مدت زمان و فراوانی وقوع بارندگی، منابع آب را بطور عام و دسترسی به آب سطحی و زیرزمینی را بطور خاص تحت تاثیر قرار می‌دهد (۵۳ و ۶۳). در این میان بخش کشاورزی به دلیل تعاملات گسترده‌ای که با محیط دارد و به دلیل وابستگی بالای آن به آب، بیشترین تأثیر را از پدیده تغییر اقلیم می‌پذیرد. آثار تغییر اقلیم بر منابع آبی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک شدیدتر است و پیامدهای قابل توجهی بر تولید محصولات کشاورزی خواهد داشت (۳۴). با توجه به اتکای مستقیم کشاورزی بر منابع طبیعی، مردمی که معیشت خود را از این

۱، ۲ و ۴- به‌ترتیب مربی و دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: f_moazzezi@yahoo.com)
۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

DOI: 10.22067/jead2.vi0.86966

بخش تأمین می‌کنند، به دلیل اثرپذیری از تغییر اقلیم، به شدت آسیب‌پذیر می‌باشند (۶۰). نوسانات فزاینده‌ی مورد انتظار در دسترسی به منابع آب، موجب افزایش تأثیرات بر کشاورزی و امنیت‌غذایی خواهد شد، به ویژه اگر در تولید محصولات کشاورزی، روش دیم غالب باشد (۶۱). تغییر اقلیم با افزایش تقاضای آب کشاورزی موجب استفاده از آب، بیش از حد نیاز تبخیر تعرق گیاه شده و در نهایت تنش بیشتر بر عرضه آب زیرزمینی را تحمیل می‌کند (۲۹ و ۵۶).

جدای از اثرات بر دسترسی به آب، انتظار می‌رود تغییرات اقلیمی به طور معنی‌داری بر بهره‌وری محصولات تاثیر بگذارد و بویژه تولیدات کشاورزی دیم را از طریق افزایش تنش آبی کاهش دهد (۴۷، ۵۳ و ۵۵). از سوی دیگر تغییر اقلیم هر چهار بعد امنیت غذایی؛ یعنی در دسترس بودن، دسترسی، پایداری و استفاده از مواد غذایی را تحت تأثیر قرار خواهد داد (۹، ۱۷ و ۶۴). نتایج برخی مطالعات حاکی از تاثیر شدید گرم‌شدن مورد انتظار هوا در آینده بر عملکرد محصولات است (۲۴ و ۳۶). در این زمینه تغییر اقلیم در پاکستان با افزایش دما منجر به کاهش عملکرد محصول گندم شده است (۵۹). همچنین در بیشتر مناطق گرمسیری تغییر اقلیم بر بازده محصولات تأثیر منفی داشته و با افزایش شدت تغییرات اقلیمی این اثرات شدیدتر هم می‌شود (۶۵). بر این اساس در آفریقا و جنوب آسیا متوسط عملکرد محصول در سال ۲۰۵۰ حدود ۸ درصد کاهش خواهد یافت (۲۸). در ایران و در حوضه‌ی زاینده‌رود تغییرات اقلیمی در افق‌های ۲۰۲۰ و ۲۱۰۰ و تحت سناریوهای A2 و B2 منجر به کاهش بارندگی، افزایش دما و در نهایت کاهش عملکرد گیاه و تولید خواهد شد (۳۵). بنابراین الگوی محکم و منسجمی از تأثیر تغییرات اقلیمی بر بهره‌وری محصول و بر در دسترس بودن مواد غذایی در سطح جهان وجود دارد (۶۴).

امنیت‌غذایی در بُعد دسترسی به غذا از طریق کاهش درآمد کشاورزان به دلیل افزایش هزینه‌های تولید، تحت تأثیر قرار می‌گیرد (۴۳). کشاورزی نه تنها یک منبع تأمین غذا، بلکه منبع تأمین درآمد بیشتر جمعیت جهان است. بنابراین تغییرات اقلیمی با کاهش تولیدات کشاورزی و درآمد، افزایش ریسک‌ها و ایجاد اختلال در بازارها، تهدیدی جدی برای دسترسی به مواد غذایی جمعیت روستایی و شهری خواهد بود (۲۶). بُعد دیگر امنیت‌غذایی ثبات در تولید مواد غذایی است که تأمین غذا به مقدار کافی را طبق تقاضا در همه زمان‌ها تضمین می‌کند. پیش‌بینی می‌شود در آینده با افزایش وقوع و شدت حوادثی مانند طوفان، سیل، تگرگ و خشکسالی، شرایط اقلیم جهانی متغیرتر از حال شود و با ایجاد نوسانات بیشتر از سالی به سال دیگر در عملکرد محصولات کشاورزی، باعث نوسان در عرضه و قیمت مواد غذایی شده و در نهایت ثبات تولید مواد غذایی و امنیت‌غذایی را تحت تأثیر قرار دهد (۲۷). الکامو و همکاران (۲) نشان دادند که تغییر اقلیم با کاهش تولید سیب‌زمینی و گندم در مناطق جنوبی روسیه از ۷ تا ۲۹ درصد تا سال ۲۰۲۰ و از ۲۳ تا ۴۱ درصد تا سال ۲۰۷۰ تهدیدی جدی برای امنیت‌غذایی این کشور است. بُعد چهار امنیت غذایی استفاده از مواد غذایی است که شامل کلیه جنبه‌های ایمنی مواد غذایی و کیفیت تغذیه‌ای آن می‌شود. تغییراقلیم با افزایش دما سلامتی موادغذایی را از طریق افزایش مایکوتوکسین‌ها در مواد غذایی به خطر می‌اندازد (۵۰ و ۶۴). از طرفی تغییراقلیم با افزایش غلظت CO_2 در اتمسفر، افزون بر کاهش غلظت پروتئین‌ها در بسیاری از محصولات زراعی، با کاهش برخی از مواد معدنی مانند روی و آهن، کیفیت تغذیه‌ای غذاها از جمله آرد حاصل از غلات و حبوبات را کاهش خواهد داد و موجب کاهش ارزش غذایی آنها می‌شود (۲۶، ۴۴ و ۵۰).

در ایران، نیکویی (۴۶) به منظور استفاده پایدار از منابع آب و پاسخگویی به اهداف امنیت غذایی، نشان داد که سیاست تخصیص و استفاده بهینه از آب، موجب بهبود راندمان مصرف آب و امنیت غذایی خواهد شد. حسینی و همکاران (۲۱) نشان دادند که تغییر اقلیم منجر به کاهش سود ناخالص بخش کشاورزی در حوضه‌ی زاینده‌رود خواهد شد که با راهبردهای کم‌آبیاری بهینه و تغییر الگوی کشت، میزان زیان قابل کاهش است. سلطانی و موسوی (۵۷) با بررسی آثار بالقوه‌ی تغییر اقلیم تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 نشان دادند که افزایش دی‌اکسیدکربن و تغییرات اقلیمی ناشی از آن دارای اثر منفی بر الگوی کشت منطقه است و موجب کاهش ارزش افزوده بخش کشاورزی دشت همدان-بهار تا سال ۲۰۴۰ خواهد شد. آنها همچنین نشان دادند که تغییر اقلیم موجب کاهش بیلان منابع آب زیرزمینی و به دنبال تحمیل آثار منفی بر الگوی کشت در نهایت موجب کاهش ارزش افزوده کشاورزی خواهد شد (۵۸).

بر اساس گزارش بانک جهانی بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ایران در مقایسه با سایر کشورها بسیار پایین است (۶۵) و با توجه به موقعیت جغرافیایی خشک و نیمه خشک، بارندگی کم و توزیع نامناسب آن، تبخیر زیاد، جمعیت در حال رشد و در نتیجه افزایش تقاضا برای آب، در معرض آسیب‌پذیری جدی از پدیده تغییر اقلیم قرار دارد (۳۲ و ۳۹). استان همدان و به ویژه دشت همدان-بهار یکی از مناطق عمده تولید محصولات کشاورزی است که جابه‌جایی محسوس دوره بارندگی (۴۲)، روند افزایشی دما (۴ و ۶۷) و روند کاهشی بارش (۶۷) حاکی از وقوع پدیده تغییر اقلیم در این منطقه است. لذا در صورت تداوم این روند، انتظار می‌رود که میزان دسترسی به نهاده‌ی آب و نیز عملکرد اغلب محصولات در این دشت، دستخوش تغییر شود که این مهم منجر به تغییر در سطح زیرکشت و تولیدات موادغذایی و متعاقب آن متأثر کردن شاخص‌های اقتصادی و امنیت غذایی خواهد شد. از آنجا که در دشت مذکور منابع آب زیرزمینی مهمترین منبع تأمین‌کننده بیش از ۸۰ درصد آب موردنیاز کشاورزی و ۵۰ درصد آب شرب است (۵). در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در این دشت موجب منفی شدن بیلان آبی شده است. بر

همین اساس طی سالهای ۱۳۶۲ تا ۱۳۸۱ میزان افت متوسط آبخـوان این دشت ۱۷/۵ متر و به طور سالیانه حدود یـک متـر گـزارش شـده است. در سال آبی ۱۳۹۴ میزان تغذیه خالص و میزان برداشت آب این دشت به ترتیب ۲۶۹ و ۲۹۵ میلیون مترمکعب بـرآورد شـده کـه ایـن مازاد برداشت باعث کاهش ۵۵ میلی‌متری تـراز سـفره آب زیرزمینـی شده است (۵). بطور کلی از سال ۱۳۷۱ این دشـت در بهـره‌بـردای از آب‌های زیرزمینی به عنـوان دشـت ممنوعـه اعـلام شـده اسـت (۷). بنابراین بررسی مطالعات پیشین گویای آن است که نبـود قطعیـت، ضرورت انجام پیش‌بینی‌های اقلیمی در سطوح منطقه‌ای را روشـن می‌سازد. در مطالعات یاد شده تنها اثرات سناریوهای اقلیمـی گـزارش چهارم هئیت بین دول[1] در قالب سناریوهای انتشار گازهای گلخانـه‌ای (SRES) بر عملکرد گیاهان زراعـی، الگـوی کشـت منطقـه و ارزش افزوده کشاورزی بررسی شده و بـه مسـائل مهمـی چـون بهـره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و امنیت غذایی توجهی نشده است.

بر این اساس جهت برنامه‌ریزی بلندمدت در خصوص منـابع آبـی دشت همدان-بهار، ضروری است شرایط اقلیمی دشت مـذکور بـرای تعیین میزان منابع آب موجود و در دسترس، مورد بررسی قـرار گیـرد. لذا در این راستا، پژوهش حاضر با پر کردن خـلاء مطالعـات قبلـی بـا هدف حداکثرکردن درآمد کشاورزان و در نظر گرفتن مفاهیم بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و امنیت غذایی، درصـدد اسـت تـا بـا تـدوین الگویی مناسب، پیامدهای فیزیکـی و اقتصـادی تغییـرات اقلـیم را در منطقه مورد مطالعه با لحـاظ و مقایسـه سـناریوهای گـزارش چهـارم (سناریوهای A2 و B1) و پنجم (سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5) هئیت بین دول بر مفاهیمی چـون پارامترهـای آب و هـوایی، الگـوی کشت منطقه، بهره‌وری فیزیکی و اقتصـادی آب و امنیـت غـذایی بـا استفاده از تکنیک‌های برنامـه‌ریـزی ریاضـی مثبـت (PMP) بررسـی نماید.

مواد و روش‌ها

برای رسیدن به اهداف این پژوهش در گـام نخسـت بـر اسـاس مدل‌های گردش عمومی جو، تغییرات متغیرهای اقلیمی بـارش و دمـا برای افق ۲۰۷۰ در سناریوهای مختلف مشخص شد. در گـام دوم بـا برآورد تابع واکنش اقلیمی عملکـرد محصـولات، حساسـیت عملکـرد نسبت به متغیرهای بارش و دما تعیین گردید و با در نظر گرفتن نتایج گام نخسـت، تغییـرات عملکـرد محصـولات در سـناریوهای مختلـف بدست آمد. در گام آخر، یک الگوی PMP جهت تعیین الگوی کشـت و دستیابی به سایر اهداف توسعه و اجرا شد. با توجه به آنچه که بیـان شد فرآیند انجام این مطالعه در چارچوب شکل ۱ قابل ملاحظه است.

1- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

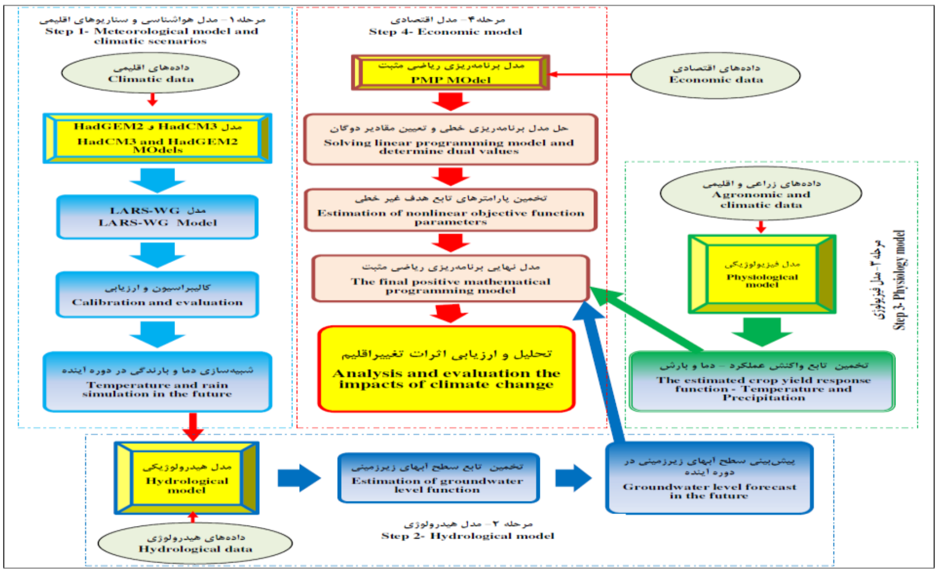
سناریوهای اقلیمی

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولیـد سـناریوهای اقلیمـی، مدل‌های جهانی گردش عمومی اقیانوس- اتمسـفر[2] است که با مبنـا قرار دادن سناریوهای غیراقلیمی انتشـار گازهـای گلخانـه‌ی گـزارش چهـارم (B1، B2، A1 و A2) و سـناریوهای واداشـت تابشـی[3] گـزارش پـنجم (RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5)، چشم‌اندازی از تغییرات اقلیمی در آینده ترسیم مـی‌نمایـد (۲۵،۲۶). در این مطالعه از خروجـی‌هـای مـدل HadCM3 تحـت دو سـناریوی خـوش‌بینانـه (B1) و بدبینانـه (A2) و از خروجـی‌هـای مـدل HadGEM2 تحـت دو سـناریوی خـوش‌بینانـه (RCP2.6) و بدبینانـه (RCP8.5) جهت بررسی و پیش‌بینی تغییرات بارندگی و دما و سپس شبیه‌سازی تغییـرات آنهـا بـرای دوره ۲۰۱۸-۲۰۷۰ اسـتفاده شده است.

مدل اقتصادی و الگوی PMP

تکنیک‌های برنامه‌ریزی ریاضی در پرداختن به موضوعات مرتبط، ماننـد هیـدرولوژی، تغییـرات اقلیمـی، پیامـدهای اقتصـادی، زیست‌محیطی، نهادی و سیاسی دارای مزیت و سابقه طـولانی اسـت. این تکنیک با قراردادن داده‌های بخش‌های مختلف در یک چـارچوب ریاضی، با ایجاد ابزاری جامع برای سیاست‌گذاران، طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی سیاست‌ها را مقدور می‌سازد (۱۵، ۱۶ و ۳۳). به همین منظور با شبیه‌سازی اثرات یک تغییر سیاستی، سیاست‌گذار به دنبال مقایسـه شرایط موجود و شرایط بعـد از اعمـال سیاسـت اسـت. مـدل تحلیـل سیاستی بایستی قادر به بازسازی سطوح مشاهده شـده در سـال پایـه باشد. لذا برنامـه‌هـای ریاضـی کالیبراسـیون بـرای اطمینـان از قابـل اعتمادبودن نتایج، مورد نیاز است. در دهه‌های گذشته رویکـرد PMP برای کالیبره کردن چارچوب بهینـه‌سـازی و فـائق آمـدن بـر ویژگـی نرماتیو بودن، توسط هاویت (۲۲) معرفی گردید کـه امـروزه بـه طـور گسترده‌ی برای کالیبراسیون مسائل تخصیص منابع آب استفاده شـده است (۱۴، ۱۶، ۲۰ و ۳۷). مهمترین مزیت اسـتفاده از PMP، توانـایی تولید آن در ایجاد تغییر هموار و ملایم ناشی از اجـرای سیاسـت‌هـای جدید در مواجهه با تغییرات آب و هوایی اسـت (۱۶)، در حـالی کـه از نتایج بهینه‌سازی شـده مطـابق بـا نتـایج مشـاهده شـده بـرای یـک مجموعه پایه از شرایط تاریخی بـا حـداقل نیازهـای داده‌ای اطمینـان دارد (۴۵ و ۵۲). این روش برای توضیح عکـس‌العمـل تولیدکننـدگان نسبت به تغییرات اقلیمی و ارزیابی اثرات آن بـر کشـاورزی در سـطح مزرعه و منطقه بسیار مناسب است. بر این اساس در ایـن مطالعـه بـا استفاده از PMP به بررسی اثر تغییـرات اقلیمـی بـر ابعـاد کشـاورزی دشت همدان-بهار پرداخته شده است.

2- Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM)
3- Radiative Forcing



شکل ۱– الگوریتم مراحل انجام مطالعه

Figure 1- Algorithm of study steps

به طور کلی PMP دارای سه مرحله است؛ در مرحله نخست با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی ساده با تابع هدف سود خطی، به مجموعه قیدهای سیستمی شامل قید زمین، منابع آب، سرمایه، نیروی کار و کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفات و پتاس، قیدهای کالیبراسیون اضافه شده و دوگان یا قیمت‌های سایه‌ای آنها محاسبه می‌شوند. بدین منظور با فرض حداکثرسازی مجموع سود حاصل از محصولات مختلف کشاورزی دشت همدان–بهار الگوی اولیه به صورت ذیل ارائه شده است (۱۷ و ۲۳):

$$Max \quad Z=\sum_j \sum_k \left(P_j * Yield_{jk} - \sum_i a_{ijk} c_{ijk}\right) x_{jk} \qquad (۱)$$

$$S.t: \quad \sum_j \sum_k a_{ijk} x_{jk} \le b_{ik} \quad \forall_i \quad [\lambda^1] \qquad (۲)$$

$$x_{jk} \le \tilde{x}_{jk} + \varepsilon \quad \forall_{j,k} \quad [\lambda^2] \qquad (۳)$$

$$x_{jk} \ge 0 \quad \forall_{j,k} \qquad (۴)$$

رابطه (۱) تابع هدف خطی الگوی اولیه و روابط (۲) و (۳) بترتیب قیدهای سیستمی و کالیبراسیون و رابطه (۴) نیز قیود غیرمنفی سطح فعالیتها را نشان می‌دهد. مجموعه‌های j، i و k بترتیب بیانگر نوع محصول، عوامل تولید و تکنولوژی آبیاری است. Z ارزش تابع هدف یا بازده ناخالص سالانه کلیه فعالیت‌های زراعی، P_j قیمت محصول، $Yield_{jk}$ عملکرد در هکتار، a_{ijk} مقادیر استفاده شده از عوامل تولید در هکتار، c_{ijk} هزینه هر واحد از عوامل تولید، x_{jk} سطح زیرکشت محصول، b_{ik} مقادیر منابع موجود در منطقه برای فعالیت‌های مزارع، $\tilde{x}_{jk}$ سطح زیرکشت اولیه محصول در سال پایه، λ^1 و λ^2 بترتیب متغیرهای دوگان عوامل تولید و کالیبراسیون و ε برداری از اعداد مثبت بسیار کوچک هستند.

در کالیبراسیون تابع عملکرد غیرخطی کاهشی، بردار دوگان λ^2 اختلاف ارزش تولید نهایی و متوسط است (۲۲). در کالیبراسیون تابع هزینه غیرخطی صعودی، بردار هزینه نهایی واقعی مشاهده شده محصول برابر با مجموع بردار هزینه c و بردار هزینه نهایی تفاضلی یا همان بردار دوگان λ^2 است (۴۸). در مرحله دوم مقادیر دوگان حاصل از مرحله اول برای تخمین و کالیبره کردن پارامترهای تابع هدف غیرخطی استفاده می‌شود. در این حالت بدون قیدهای کالیبراسیون، سطح مشاهده شده فعالیت‌های سال پایه به کمک تابع هدف غیرخطی باز تولید می‌گردد (۲۲ و ۴۸). در این مرحله از توابع غیرخطی مناسب می‌توان برای کالیبراسیون استفاده کرد. در این مطالعه از تابع تولید درجه‌دوم و تابع هزینه درجه‌دوم برای کالیبره‌کردن الگو استفاده شده است. در مرحله‌ی سوم توابعی که در مرحله قبل برآورد شده در تابع هدف قرار داده می‌شود و یک الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی شبیه به مسأله اولیه به استثنای محدودیت‌های کالیبراسیون اما همراه با سایر محدودیت‌های سیستمی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در ادامه به منظور محاسبه تغییرات عملکرد ناشی از تغییرات اقلیمی، مبادرت به برآورد تابع عملکرد محصولات مختلف و محاسبه حساسیت عملکرد آنها نسبت به متغیرهای اقلیمی گردید. بدین منظور به پیروی از مطالعات مختلف (۶، ۱۲ و ۵۷)، رابطه (۵) در فرم تابع درجه دوم برآورد و سپس حساسیت عملکرد نسبت به متغیرهای دما و بارندگی محاسبه شد.

$$Yield_{tj} = f(Te_{ts}, Te_{ts}^2, R_{ts}, R_{ts}^2, VTe_{st}, VR_{ts}, T) \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، $Yield$ عملکرد محصول j در سال t، Te_{ts} میانگین

دمای فصلsام $s = \{1,2,3,4\}$ در سال t، R_{ts} مجموع بارندگی فصل sام در سال t، و VTe_{ts}، VR_{ts} به ترتیب انحراف دما و بارندگی از مقدار میانگین بلندمدت آنها و T متغیر روند زمانی که معرف تغییر در تکنولوژی در طول زمان است. به منظور برآورد رابطه (۵) با توجه به تعداد زیاد متغیرهای توضیحی و کاهش درجه آزادی، روش ماکزیمم آنتروپی تعمیم یافته (GME[1]) با بدست آوردن نتایج منحصر به فرد روش مناسب‌تری است (۱۸، ۵۴ و ۵۷) و لذا در این مطالعه از آن استفاده شد.

ارزیابی اثرات تغییراقلیم بر بهره‌وری آب نیز هدف دیگر این مطالعه است. بهره‌وری مصرف آب یکی از شاخص‌های مصرف بهینه‌ی آب آبیاری است. دو مفهوم بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، کاربرد بیشتری داشته و در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهره‌وری فیزیکی مصرف آب، مقدار محصول تولید شده و بهره‌وری اقتصادی، ارزش محصول تولیدی یا سود ایجاد شده به ازای واحد حجم آب مصرفی (کیلوگرم بر متر مکعب) بیان می‌شوند (۱). در تحقیق حاضر شاخص‌های فیزیکی (PPW_j) و اقتصادی (EPW) بهره‌وری آب با استفاده از رابطه (۶) محاسبه و تحلیل شده است:

$$PPW_j = \frac{Y_j}{TWU_j} \quad , \quad EPW = \frac{Z}{TWU} \tag{۶}$$

که درآن Y_j، Z، TWU_j و TWU به ترتیب بیانگر تولید کل محصول j، سود ناخالص کل، کل آب مصرفی محصول j و تمامی محصولات می‌باشند. طبق سیاست‌های راهبردی وزارت جهاد کشاورزی، امنیت غذایی از طریق تولید محصولات استراتژیک شامل گندم، جو، علوفه، سیب‌زمینی و دانه‌های روغنی تأمین می‌گردد. لذا در این مطالعه به منظور بررسی تأثیرپذیری امنیت‌غذایی از تغییرات اقلیمی، شاخص‌های سطح زیرکشت، میزان تولید و درآمد این محصولات در سناریوهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است.

آمار و اطلاعات مورد نیاز داده‌های هواشناسی شامل مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه سینوپتیک همدان (فرودگاه) طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۱ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. داده‌های کشاورزی و منابع آب، بخشی از بانک‌های اطلاعاتی شرکت آب منطقه‌ای شهرستان‌های همدان و بهار، سازمان جهاد کشاورزی استان همدان و مرکز آمار ایران و بخشی از طریق تکمیل ۲۴۰ پرسشنامه از کشاورزان منطقه به روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دو مرحله‌ای در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ جمع‌آوری شد. سپس به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات از نرم‌افزارهای GAMS و LARS-WG استفاده گردید.

1- General Maximum Entropy

نتایج و بحث

نخست با استفاده از مدل مولد داده‌های هواشناسی LARS-WG مبادرت به پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان تحت سناریوهای مختلف اقلیمی برای افق ۲۰۷۰ گردید. نتایج اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای بارش و دما در سناریوهای خوش‌بینانه B1، RCP2.6 و بدبینانه A2، RCP8.5 طی افق۲۰۷۰ در جدول ۱، حاکی از کاهش بارش و افزایش دمای سالانه در تمامی سناریوها است. بطوریکه متوسط بارندگی سالانه در سناریوهای B1، A2، RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب ۶/۷۵، ۱۷/۱۴، ۵/۱۸ و ۱۸/۴۴ درصد نسبت به سال پایه (سال ۲۰۱۸) کاهش خواهد یافت. بیشترین کاهش بارندگی مربوط به سناریو RCP8.5 بیش از ۱۸ درصد و کمترین کاهش مربوط به سناریو RCP2.6 حدود ۵ درصد نسبت به سال پایه است. بر این اساس در افق ۲۰۷۰، متغیر بارش در سناریو خوشبینانه B1، کاهش بیشتری را نسبت به سناریو خوشبینانه RCP2.6 نشان می‌دهد، اما در سناریو بدبینانه A2 در مقایسه با سناریو بدبینانه RCP8.5 کاهش کمتری مشاهده می‌شود. این نشان می‌دهد که افزایش واداشت تابشی (گزارش پنجم) در مقایسه با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای (گزارش چهارم) اثرات بدبینانه اقلیمی شدیدتری دارد. برخلاف بارندگی، متوسط دمای سالانه در سناریوهای B1، A2، RCP2.6 و RCP8.5 بترتیب ۸/۳۹، ۱۲/۱۳، ۷/۵ و ۱۳/۶ درصد افزایش نسبت به سال پایه خواهد داشت. بنابراین با مقایسه تمامی سناریوها، بیشترین افزایش دما در سناریو RCP8.5 و کمترین افزایش در سناریو RCP2.6 مشاهده می‌شود. بر اساس این نتایج می‌توان گفت که دلیل شدت بیشتر تغییرات اقلیمی در سناریو بدبینانه RCP8.5 نسبت به سناریو A2، افزایش غلظت بیشتر CO2 تا سال ۲۱۰۰ است (۱۳۷۰ ppm در مقایسه با ۸۷۵ ppm). در سناریوهای خوش‌بینانه نیز میزان افزایش غلظت CO2 در RCP2.6 نسبت به سناریو B1 کمتر است (۴۹۰ ppm در مقایسه با ۵۳۸ ppm).

نتایج تغییرات عملکرد برای افق ۲۰۷۰ در جدول ۱ نشان می‌دهد که با تغییرات رخ داده در بارندگی و دما، عملکرد برخی از محصولات از جمله گوجه‌فرنگی، خیار، هندوانه، چغندرقند، ذرت علوفه و هندوانه دیم در هر چهار سناریو افزایش خواهد یافت. در این میان بیشترین افزایش عملکرد مربوط به گوجه‌فرنگی و خیار و کمترین افزایش مربوط به هندوانه دیم و ذرت علوفه است. نکته حائز اهمیت در افزیش عملکرد این محصولات، افزایش بیشتر در سناریوهای بدبینانه نسبت به سناریوهای خوش‌بینانه است. سناریو RCP2.6 کمترین و سناریو RCP8.5 بیشترین افزیش عملکرد را خواهند داشت. در مورد عملکرد محصول ذرت سناریو A2 کمترین و سناریو B1 بیشترین افزیش را نشان می‌دهد، هر چند که این افزایش خیلی ناچیز است.

اکثر محصولاتی که افـزیش عملکـرد یافتـه‌انـد از گـروه محصـولات صیفی و جالیزی هستند. دلیل این افـزایش را مـی‌تـوان بـه علامـت کشش عملکرد نسبت به دما (+) و بارندگی (-) نسبت داد که متناسب با افزایش دما و کاهش بارنـدگی در سـناریوهای مختلـف بـا تقویـت همدیگر، موجب افزایش عملکرد آنهـا مـی‌شـود. احتمـالا علـی‌رغـم کاهش بارندگی، تغییرات توزیع الگوی بارش و دما در طول دورۀ رشد این محصولات به گونه‌ای بوده که مقـدار بارنـدگی نیـاز آبـی گیـاه را تأمین نموده و عملکرد این محصولات کـاهش نیافتـه اسـت. در ایـن زمینه نتـایج ایـن مطالعـه بـا نتـایج سـایر پژوهـشگران (۵۱ و ۵۸) مطابقت دارد.

جدول ۱- آثار سناریو های تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی و عملکرد محصولات زراعی در دشت همدان-بهار (درصد)

Table 1- Impacts of climate change scenarios on climate parameters and crop yield in Hamedan-Bahar plain

پارامتر اقلیمی/ محصول Climate parameter/Crop	سناریو B1 Scenario B1	سناریو A2 Scenario A2	سناریو RCP2.6 Scenario RCP2.6	سناریو RCP8.5 Scenario RCP8.5
بارش Precipitation	-6.75	-17.14	-5.18	-18.44
دما Temperature	8.39	12.13	7.5	13.06
یونجه Alfalfa	-0.81	-2.07	-0.62	-2.22
جو Barely	-2.32	-4.66	-1.92	-5.01
لوبیا Bean	-2.8	-4.51	-2.45	-4.85
خیار Cucumber	2.28	4.21	1.93	4.53
سیر Garlic	-1.63	-3.66	-1.31	-3.94
ذرت علوفه Forage maize	0.88	0.78	0.85	0.84
نخود Pea	-3.46	-5.51	-3.04	-5.93
سیب زمینی Potato	-1.05	-3.41	-0.72	-3.67
کلزا Rapeseed	-1.27	-1.64	-1.16	-1.77
چغندر Sugar beet	1.21	2.75	0.97	2.95
گوجه فرنگی Tomato	2.88	4.71	2.52	5.07
هندوانه Watermelon	1.7	2.01	1.57	2.17
گندم Wheat	-1.44	-2.29	-1.26	-2.46
جو دیم Rain fed barley	-2.97	-6	-2.45	-6.46
عدس دیم Rain fed lentil	-0.41	-0.42	-0.38	-0.46
هندوانه دیم Rain fed watermelon	0.56	1.1	0.46	1.18
گندم دیم Rain fed wheat	-1.45	-3.55	-1.12	-3.82
نخود دیم Rain fed pea	-0.41	-0.42	-0.38	-0.46

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source: Research findings

در این میان عملکرد محصولات گندم، جو، کلزا، یونجه، عدس، نخود، لوبیا، سیب‌زمینی و سیر در هر چهار سناریو کاهش نشان می‌دهد. بیشترین کاهش عملکرد در هر دو سناریوی بدبینانه A2 و RCP8.5 مربوط به محصول جو دیم بترتیب با ۶ و ۶/۵ درصد و در دو سناریو خوش‌بینانه B1 و RCP2.6 مربوط به نخود آبی بترتیب با ۳/۵ و ۳ درصد کاهش می‌باشد. کمترین کاهش عملکرد در سناریوهای A2، RCP2.6 و RCP8.5 مربوط به محصول عدس دیم و در سناریو B1 مربوط به نخود دیم است. اکثر محصولاتی که با کاهش عملکرد مواجه شده‌اند نسبت به دما حساسیت منفی و نسبت به بارندگی حساسیت مثبت داشته‌اند. بنابراین با کاهش بارندگی و افزایش دما برآیند تغییرات آنها بر عملکرد منفی شده است. افزون بر این عدم وجود هماهنگی بین توزیع زمانی بارش و مراحل رشد گیاه در برخی مناطق، موجب کاهش عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود (۴۰). این در حالی است که پاسخ عملکرد محصول به تغییرات اقلیمی عمدتا به گونه و رشد واریته، شرایط خاک، اثر مستقیم CO_2 بر گیاه و سایر عوامل خاص مکانی بستگی دارد (۴۹). ضمن اینکه در مرحله رشد محصول ترکیب باران کم و دمای زیاد مضرترین اثرات منفی را بر عملکرد دارد (۲۴). بر این اساس نتایج مشابه‌ی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (۲۸، ۵۱ و ۵۷). عملکرد محصولات آبی نیز از طریق افزایش نرخ تبخیر و تعرق از سطح خاک و گیاه، تحت تأثیر دمای محیط قرار دارد. ضمن این که با کاهش بارش‌ها، مقدار آبیاری مورد نیاز برای آنها افزایش می‌یابد (۸). بنابراین افزایش نیاز آبی از یک سو و کاهش آب در دسترس از سوی دیگر، موجب می شود که بخشی از تقاضای آب مورد نیاز گیاهان تأمین نشده و تنش آبی بوجود آید. این تنش آبی موجب کاهش عملکرد برخی محصولات در دشت همدان-بهار شده است.

افزون بر نتایج فوق اثرات منفی تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات استراتژیک گندم، جو، علوفه، سیب‌زمینی و دانه‌های روغنی منجر به کاهش عملکرد آنها شده است. این کاهش عملکرد در آینده می‌تواند با کاهش در دسترس بودن مواد غذایی، امنیت غذایی را به خطر بیاندازد. بر اساس نتایج برخی مطالعات افزایش دما به همراه تغییرات در میزان بارش، اثرات متنوعی بر کشاورزی در سراسر جهان داشته و پیش‌بینی می‌شود تغییرات آب و هوایی به طور مستقیم بر نرخ رشد بهره‌وری کشاورزی و در دسترس‌بودن مواد غذایی و در نتیجه امنیت جهانی غذا تأثیر بگذارد (۳۰ و ۴۹). با توجه به کاهش عملکرد این محصولات می‌توان گفت اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد، تولید مواد غذایی را در معرض خطر قرار خواهد داد و منجر به کاهش امنیت غذایی خواهد شد. بنابراین واضح است که اقدامات سازگاری برای مقابله با تغییرات اقلیمی در تولید محصولات مورد نیاز است. لذا این اقدامات می‌تواند شامل شناسایی و انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی باشد (۱۰ و ۳۱)، تغییر در شیوه‌های کشت، بویژه زمان کاشت (۱۳)، و راهکارهای دیگری که ممکن است به کشاورزان برای مقابله با خشکی و تنش آبی کمک نماید.

در این مرحله با اعمال عملکرد جدید محصولات در مدل PMP، اثرات تغییرات اقلیمی تحت سناریوهای B1، A2، RCP2.6 و RCP8.5 بر الگوی کشت کشاورزان دشت همدان-بهار بدست آمد (جدول ۲). بررسی الگوی فعلی نشان می‌دهد که گندم دیم، جو دیم، گندم آبی، جو آبی، سیب‌زمینی، یونجه، سیر و نخود دیم بترتیب بیشترین سطح زیرکشت (مجموعا بیش از ۹۸ درصد سطح زیرکشت کل) را به خود اختصاص داده‌اند. در این میان محصول گندم دیم با بیش از ۸۲ هزار هکتار و جو دیم با بیش از ۱۵ هزار هکتار بترتیب بیشترین سهم را از الگوی فعلی دارا می‌باشند.

نتایج اعمال سناریوهای مختلف تغییراقلیم نشان می‌دهد که افزایش دما، کاهش بارندگی و متعاقب آن کاهش عملکرد و کاهش دسترسی به منابع آب، علی‌رغم ثابت نگه‌داشتن سطح زیرکشت کل نسبت به شرایط فعلی در هر چهار سناریو، موجب تغییراتی گسترده در ترکیب الگوی کشت کشاورزان دشت همدان-بهار شده است. به گونه‌ای که سطح زیرکشت محصولات و ترکیب آنها در الگوی حاصل از سناریوهای مورد بررسی در افق زمانی ۲۰۷۰، در برخی محصولات کاهش و در برخی دیگر افزایش یافته است. قابل ذکر است که این کاهش و افزایش سطح زیرکشت در هر دو گروه سناریوهای خوشبینانه و بدبینانه مشاهده می‌شود. این مسئله با وجود ثابت ماندن سطح زیرکشت کل، موجب تغییر در ترکیب محصولات و جایگزینی محصولات دیم با محصولات آبی شده است. به عبارت دیگر با افزایش سطح زیرکشت محصولات دیم و جایگزین شدن به جای محصولات آبی که نیاز آبی بالایی دارند با بهگزینی الگوی کشت متناسب با تغییرات اقلیمی، سطح زیرکشت محصولات آبی در هر چهار سناریو کاهش یافته است. شدت این کاهش و افزایش در سطح زیرکشت محصولات آبی و دیم در سناریوهای بدبینانه RCP8.5 و A2 بیشتر از سناریوهای خوشبینانه B1 و RCP2.6 است. بطور کلی سناریو RCP8.5 بیشترین و سناریو RCP2.6 کمترین تغییر را در ترکیب سطح زیرکشت محصولات داشته‌اند. سطح زیرکشت محصولات آبی، لوبیا، نخود، گندم، جو، کلزا، چغندرقند، یونجه، هندوانه، ذرت علوفه، سیر، خیار و سیب‌زمینی به ترتیب بیشترین کاهش و سطح زیرکشت محصولات هندوانه دیم، جو دیم، عدس دیم، نخود دیم، گندم دیم و گوجه‌فرنگی به ترتیب بیشترین افزایش را در افق ۲۰۷۰ تحت سناریوهای مذکور خواهند داشت. در این میان در بین محصولات آبی تنها سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی افزایش یافته که با توجه به افزایش عملکرد آن در سناریوهای مختلف تا حدودی قابل انتظار است. هر چند که مقدار آب مصرفی در کشت این محصول

توسط کشاورزان نیز بعد از چغندرقند بیشترین است. همچنین باید خاطر نشان کرد که محصولاتی مثل گوجه‌فرنگی که محصولات نقدی محسوب می‌شوند علی رغم آب‌بر بودن دارای بازده ناخالص بالایی هستند و به همین جهت سطح زیرکشت آن در سناریوهای مختلف افزایش یافته است (۲۱ و ۳۸).

جدول ۲- آثار سناریو های تغییر اقلیم بر الگوی کشت محصولات زراعی در دشت همدان-بهار

Table 2- Impacts of climate change scenarios on crop cultivation pattern in Hamedan-Bahar plain

محصول Crop	شرایط فعلی Current conditions	سناریو B1 Scenario B1	سناریو A2 Scenario A2	سناریو RCP2.6 Scenario RCP2.6	سناریو RCP8.5 Scenario RCP8.5
یونجه Alfalfa	8482	7967.8	7172	8088.1	6995.9
جو Barely	10361	9069.8	7071.3	9371.8	6628.8
لوبیا Bean	15	6	6.1	6	6.1
خیار Cucumber	357	353.9	349.2	354.6	348.1
سیر Garlic	1935	1917.5	1890.3	1921.6	1884.3
ذرت علوفه Forage maize	303	295.7	284.4	297.4	281.9
نخود Pea	69	56.2	36.4	59.2	32.1
سیب زمینی Potato	9601	9529.3	9418.2	9546	9393.7
کلزا Rapeseed	216	197.1	167.7	201.5	161.2
چغندر Sugar beet	132	122.3	107.3	124.6	104
گوجه فرنگی Tomato	18	18.2	18.5	18.2	18.6
هندوانه Watermelon	301	290.7	274.8	293.1	271.2
گندم Wheat	13341	11537.1	8745.2	11959	8127.1
جو دیم Rainfed barley	15660	16863.2	18721	16582.5	19132.3
عدس دیم Rainfed lentil	57	59.9	64.3	59.2	65.2
هندوانه دیم Rainfed watermelon	6	8.4	11.9	7.8	12.7
گندم دیم Rainfed wheat	82935	85451.5	89337.2	84864.4	90197.4
نخود دیم Rainfed pea	1135	1179.5	1248.1	1169.1	1263.3
سطح زیرکشت کل (هکتار) Total cultivation area (hectare)	144924	144924.1	144923.9	144924.1	144923.9

مأخذ: یافته‌های تحقیق — اعداد داخل پرانتز درصد تغییرات نسبت به شرایط فعلی است.

Source: Research findings — Numbers in parentheses are the percentage of changes compared to the current conditions

بر اساس نتایج جدول ۳، حجم تولید کل محصولات کشت شده در دشت همدان-بهار در دوره آتی تحت سناریوهای مختلف اقلیمی کاهش خواهد یافت. بطوری‌که مقدار تولید کل از ۸۶۰ هزار تن در الگوی پایه بترتیب با ۱۰ و ۲/۷ درصد کاهش در سناریوهای

RCP8.5 و RCP2.6 به ۷۷۳ و ۸۳۷ هزار تن خواهد رسید. این مقدار کاهش در تولید علی‌رغم ثابت ماندن سطح زیرکشت کل نیز قابل تأمل است. این مسئله خاطر نشان می‌کند که افزایش سطح زیرکشت محصولات دیم در سناریوهای مختلف قادر به جبران کاهش تولید محصولات آبی ناشی از تغییرات اقلیم نخواهد بود. این نتایج با یافته‌های قبلی حسینی و همکاران (۲۱)، علی‌بخشی و همکاران (۳) و موسوی و همکاران (۴۱) مطابقت دارد.

در این قسمت به مقایسه تأثیر تغییرات اقلیمی تحت سناریوهای مختلف بر امنیت غذایی از طریق بررسی دو شاخص سطح زیرکشت و تولید محصولات استراتژیک شامل گندم، جو، علوفه، سیب‌زمینی و دانه‌های روغنی پرداخته شده است. جدول ۳ نشان می‌دهد که در شرایط فعلی از ۱۴۵ هزار هکتار سطح زیرکشت کل محصولات حدود ۱۴۱ هزار هکتار آن به کشت محصولات غذایی اساسی (محصولات استراتژیک) اختصاص دارد که از این میزان بیش از ۹۸ هزار هکتار (۷۰ درصد) آن را محصولات غذایی اساسی دیم و بیش از ۴۲ هزار هکتار (۳۰ درصد) آن را محصولات غذایی اساسی آبی شامل می‌شود. بنابراین این مسئله اهمیت و نقش مهم محصولات غذایی اساسی را در منطقه مورد مطالعه و درآمد کشاورزان نمایان می‌سازد. با اعمال سناریوهای اقلیمی مشاهده می‌شود که سطح زیرکشت محصولات غذایی اساسی آبی کاهش و سطح زیرکشت محصولات غذایی اساسی دیم افزایش خواهد یافت که برآیند این دو منجر به ثابت ماندن سطح زیرکشت کل محصولات غذایی اساسی در تمامی سناریوها خواهد شد (جدول ۲). بنابراین بر اساس شاخص سطح زیرکشت در افق ۲۰۷۰، امنیت غذایی نسبت به شرایط سال پایه تغییری نخواهد داشت.

با بررسی شاخص تولید محصولات غذایی اساسی در جدول ۳ ملاحظه می‌شود که از ۸۵۹ هزار تن تولید کل محصولات در سال پایه، ۷۹۸ هزار تن آن محصولات غذایی اساسی است. از این میزان ۶۶۰ هزار تن (۸۲/۷ درصد) تولیدات آبی و ۱۳۸ هزار تن (۱۷/۳ درصد) تولیدات دیم است. با وقوع تغییرات اقلیمی تولیدات محصولات غذایی اساسی آبی و دیم به ترتیب کاهش و افزایش خواهند یافت. با این وجود علی‌رغم ثابت ماندن سطح زیرکشت کل محصولات غذایی اساسی در تمامی سناریوها، کاهش در تولید کل آنها محسوس و قابل ملاحظه است. بر این اساس در سناریوهای B1، A2، RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب ۳/۶، ۹/۲، ۲/۷ و ۱۰/۳ درصد کاهش در تولید کل محصولات غذایی اساسی برای افق ۲۰۷۰ اتفاق خواهد افتاد. این کاهش را می‌توان به واسطه پایین بودن عملکرد محصولات دیم نسبت به محصولات آبی دانست که با وجود افزایش سطح زیرکشت محصولات دیم جبران نشده است. این کاهش در سناریوهای بدبینانه شدیدتر است و لذا کاهش بیشتر عرضه محصولات کشاورزی را به دنبال خواهد داشت. بنابراین بر اساس شاخص تولید در دشت همدان-بهار، وقوع تغییرات اقلیمی در آینده ابعاد مختلف امنیت غذایی از جمله در دسترس‌بودن و ثبات یا پایداری عرضه مواد غذایی را تهدید خواهد کرد.

علاوه بر نتایج فوق، پیامد اثرات ناشی از سناریوهای مختلف اقلیمی بر میزان مصرف آب در جدول ۳ نشان می‌دهد که وقوع شرایط مذکور در آینده، کاهش در منابع آب و مصرف آب را در پی خواهد داشت. بر این اساس میزان آب مصرفی برای کل محصولات در سناریوهای B1، A2، RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب ۶/۸، ۱۷/۲، ۵/۲ و ۱۹/۵ درصد و برای کل محصولات غذایی اساسی به ترتیب ۷/۱، ۱۸/۱، ۵/۴ و ۲۰/۵ درصد با کاهش مواجه خواهد شد.

مهمترین شاخص اقتصادی که با اعمال اثرات سناریوهای تغییر اقلیم مورد ارزیابی قرار گرفته است، بازده برنامه‌ای کل یا همان سود ناخالص کشاورزان منطقه مورد مطالعه است. نتایج جدول ۴ بیانگر کاهش بازده برنامه‌ای کل کشاورزان منطقه در هر چهار سناریوی اقلیمی است. به عبارت دیگر تغییر اقلیم در آینده موجب تحمیل زیان به کشاورزان منطقه همدان-بهار خواهد شد. این میزان زیان بصورت کاهش در بازده برنامه‌ای کل کشاورزان برای افق ۲۰۷۰ در سناریوهای B1، A2، RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب ۲/۴، ۶/۲، ۱/۸ و ۷/۱ درصد خواهد بود. بیشترین و کمترین زیان تحمیل شده به ترتیب مربوط به سناریوهای RCP8.5 و RCP2.6 است.

بررسی نتایج اثرات تغییراقلیم بر بازده برنامه‌ای محصولات غذایی اساسی در جدول ۵ نشان می‌دهد که بازده برنامه‌ای این محصولات در سناریوهای مختلف نیز مشابه بازده برنامه‌ای کل کشاورزان، روندی کاهشی داشته و با کاهش ۱/۹ درصد در خوشبینانه‌ترین و ۷/۶ درصد در بدبینانه‌ترین سناریو مواجه خواهد شد. افزون بر آن با تفکیک محصولات غذایی اساسی به دو گروه آبی و دیم ملاحظه می‌شود که با اعمال سناریوهای تغییر اقلیم در افق آینده بازده برنامه‌ای محصولات آبی کاهش و بازده محصولات دیم افزایش خواهد یافت. اما این افزایش بازده برنامه‌ای محصولات غذایی اساسی دیم در حدی نیست که بتواند کاهش کل بازده محصولات غذایی اساسی را جبران نماید. بنابراین تغییر اقلیم در افق آینده موجب تحمیل زیان بر کشاورزان از طریق کاهش درآمد به دلیل افزایش هزینه‌های تولید شود. بر این اساس ابعاد دوم و چهارم امنیت غذایی یعنی بعد دسترسی به غذا و بعد مصرف غذای با کیفیت، از کاهش درآمد کشاورزان ناشی از تغییرات اقلیم در آینده متأثر خواهند شد. نتایج مشابهی در مطالعات مختلف (۲۶، ۴۲ و ۶۵) مشاهده شده است.

در ادامه نتایج شاخص بهره‌وری فیزیکی آب در سال پایه و اثرات سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر آن در جدول ۵ آمده است. نتایج در سال پایه نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین بهره‌وری فیزیکی آب را محصول ذرت علوفه با ۱۲/۵ کیلوگرم و محصول لوبیا با ۰/۳۲ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب دارند.

جدول ۳- آثار سناریوهای تغییر اقلیم بر تولید، سطح زیرکشت و مصرف آب کل محصولات و محصولات غذایی اساسی در دشت همدان-بهار

Table 3- Impacts of climate change scenarios on production, cultivation area and water use of total and basic food crops in Hamedan-Bahar plain

		شرایط فعلی Current conditions	سناریو B1 Scenario B1	سناریو A2 Scenario A2	سناریو RCP2.6 Scenario RCP2.6	سناریو RCP8.5 Scenario RCP8.5
Production (Thousand tons) مقدار تولید (هزار تن)						
Total مجموع		859.7	829.8(-3.5%)	782.2(-9.0%)	836.9(-2.7%)	773.49(-10%)
محصولات غذایی اساسی Basic food products	مجموع Total	798.5	769.8(-3.6%)	724.6(-9.2%)	776.6(-2.7%)	716.3(-10.3%)
	آبی Irrigated	660.5	628.9(-4.8%)	579.1(-12.3%)	636.5(-3.6%)	569.5(-13.8%)
	دیم Rainfed	138	140.9(2.1%)	145.5(5.5%)	140.1(1.6%)	146.8(6.4%)
سایر محصولات Other products		61.2	60(-2.1%)	57.6(-5.9%)	60.3(-1.5%)	57.1(-6.7%)
Cultivation area (hectare) سطح زیرکشت (هکتار)						
Total مجموع		144924	144924.1	144923.9	144924.1	144923.9
محصولات غذایی اساسی Basic food products	مجموع Total	140899	140912(0.01%)	140917(0.01%)	140911(0.01%)	140918(0.01%)
	آبی Irrigated	42304	38597(-8.8%)	32859(-22.3%)	39464(-6.7%)	31589(-25.3%)
	دیم Rainfed	98595	102315(3.8%)	108058(9.6%)	101447(2.9%)	109330(-10.9%)
سایر محصولات Other products		4025	4013(-0.3%)	4007(-0.5%)	4013(-0.3%)	4006(-0.48%)
Water use (Million m^3) مصرف آب (میلیون متر مکعب)						
کل محصولات Total products		272.8	254.3(-6.8%)	225.8(-17.2%)	258.6(-5.2%)	219.5(-19.5%)
محصولات غذایی اساسی Basic food products		253.8	235.8(-7.1%)	208(-18.1%)	240(-5.4%)	201.8((-20.5%)

مأخذ: یافته‌های تحقیق — اعداد داخل پرانتز درصد تغییرات نسبت به شرایط فعلی است.

Source: Research findings — Numbers in parentheses are the percentage of changes compared to the current conditions

جدول ۴- آثار سناریوهای تغییر اقلیم بر بازده برنامه‌ای کل محصولات و محصولات غذایی اساسی در دشت همدان-بهار

Table 4- Impacts of climate change scenarios on gross margin of total and basic food crops in Hamedan-Bahar plain

بازده برنامه‌ای (میلیارد ریال) Gross margin (Billion Rials)		شرایط فعلی Current conditions	سناریو B1 Scenario B1	سناریو A2 Scenario A2	سناریو RCP2.6 Scenario RCP2.6	سناریو RCP8.5 Scenario RCP8.5
Total مجموع		6912	6748(-2.4%)	6483(-6.2%)	6787(-1.8%)	6422(-7.1%)
محصولات غذایی اساسی Basic food products	مجموع Total	6261	6101(-2.6%)	5842(-6.7%)	6139(-1.9%)	5782(-7.6%)
	آبی Irrigated	5194	5015(-3.4%)	4726(-9.0%)	5057(-2.6%)	4660(-10.3%)
	دیم Rainfed	1067	1086(1.8%)	1115(4.6%)	1082(1.4%)	1122(5.2%)
سایر محصولات Other products		651	647(-0.7%)	641(-1.5%)	648(-0.5%)	640(-1.7%)

مأخذ: یافته‌های تحقیق — اعداد داخل پرانتز درصد تغییرات نسبت به شرایط فعلی است.

Source: Research findings — Numbers in parentheses are the percentage of changes compared to the current conditions

البته محصولات دیگری مانند هندوانه، چغندرقند، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و خیار بعد از ذرت دارای بهره‌وری نسبتا بالایی برای آب هستند. بالابودن بهره‌وری فیزیکی آب برای محصولات مذکور را تا حدودی می‌توان به بالا بودن عملکرد بالای این محصولات در واحد سطح نسبت داد. هر چند که در این میان نقش نوع واریته بذر کشت شده، مهارت و تجربه کشاورزان در مدیریت آب و انگیزه بالای کشاورزان در تولید این محصولات به اصطلاح نقدی، نباید نادیده گرفته شود.

بر اساس نتایج جدول ۵، بهره‌وری فیزیکی آب در تولید کل محصولات و تولید کل محصولات استراتژیک در سناریوهای مختلف نسبت به سال پایه افزایش یافته است. بطوریکه با وقوع تغییرات اقلیمی در افق ۲۰۷۰، بهره‌وری فیزیکی آب در سناریوهای خوشبینانه B1 و RCP2.6 به ترتیب با ۲/۳ و ۱/۸ درصد و در سناریوهای بدبینانه A2 و RCP8.5 به ترتیب با ۶/۳ و ۷/۶ درصد افزایش مواجه خواهد شد. نکته مهم در اینجا افزون بر افزایشی بودن این تغییرات نسبت به سال پایه، درصد تغییر بیشتر بهره‌وری آب در سناریوهای بدبینانه نسبت به سناریوهای خوشبینانه است. در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، بهره‌وری فیزیکی آب برای برخی محصولات افزایش و برای برخی کاهش نشان می‌دهد. بر این اساس در تمامی سناریوها بهره‌وری فیزیکی آب در محصولات خیار، ذرت، چغندرقند، گوجه‌فرنگی و هندوانه، افزایش و در سایر محصولات کاهش نشان می‌دهند.

جدول ۵- آثار سناریو های تغییر اقلیم بر بهره‌وری فیزیکی آب در دشت همدان-بهار (کیلوگرم بر متر مکعب)

Table 5- Impacts of climate change scenarios on physical productivity of water in Hamedan-Bahar plain (Kg/m^3)

محصول Crop	شرایط فعلی Current conditions	سناریو B1 Scenario B1	سناریو A2 Scenario A2	سناریو RCP2.6 Scenario RCP2.6	سناریو RCP8.5 Scenario RCP8.5
یونجه Alfalfa	1.65	1.63(-1.2)	1.61(-2.4)	1.64(-0.6)	1.61(-2.4)
جو Barely	1.14	1.12(-1.8)	1.09(-4.4)	1.12(-1.8)	1.09(-4.4)
لوبیا Bean	0.32	0.31(-3.1)	0.3(-6.3)	0.31(-3.1)	0.3(-6.3)
خیار Cucumber	3.74	3.82(2.1)	3.89(4.0)	3.81(1.9)	3.91(4.6)
سیر Garlic	2.21	2.17(-1.8)	2.13(-3.6)	2.18(-1.4)	2.12(-4.1)
ذرت علوفه Forage maize	12.52	12.63(0.9)	12.62(0.8)	12.63(0.9)	12.62(0.8)
نخود Pea	0.61	0.59(-3.3)	0.58(-4.9)	0.6(-1.6)	0.58(-4.9)
سیب زمینی Potato	5.09	5.04(-1.0)	4.92(-3.3)	5.05(-0.8)	4.9(-3.7)
کلزا Rapeseed	1.01	0.99(-2.0)	0.99(-2.0)	0.99(-2.0)	0.99(-2.0)
چغندر Sugar beet	5.56	5.63(1.3)	5.71(2.7)	5.61(0.9)	5.72(2.9)
گوجه فرنگی Tomato	4.07	4.19(2.9)	4.26(4.7)	4.17(2.5)	4.28(5.2)
هندوانه Watermelon	6.35	6.46(1.7)	6.48 (2.1)	6.45(1.6)	6.49(2.2)
گندم Wheat	1.05	1.03(-1.9)	1.03(-1.9)	1.04(-1.0)	1.02(-2.9)
بهره‌وری فیزیکی آب Physical productivity of water: کل محصولات Total crops	2.64	2.71(2.4)	2.82(6.5)	2.69(1.8)	2.85(7.9)
بهره‌وری فیزیکی آب Physical productivity of water: محصولات غذایی اساسی Basic food crops	2.6	2.67(2.5)	2.78(7.0)	2.65(1.9)	2.82(8.5)

مأخذ: یافته‌های تحقیق — اعداد داخل پرانتز درصد تغییرات نسبت به شرایط فعلی است.

Source: Research findings — Numbers in parentheses are the percentage of changes compared to the current conditions

به احتمال زیاد همین افزایشی بودن بهره‌وری در محصولات فوق موجب خنثی کردن اثر کاهشی بهره‌وری در محصولات دیگر شده و در نهایت افزایشی بودن بهره‌وری کل را برای آب رقم زده است. دلیل افزایش بهره‌وری در برخی محصولات را می‌توان مصرف بی‌رویه آب بیش از نیازآبی در شرایط فعلی دانست.

به منظور بررسی اهمیت آب و اثرات تغییر اقلیم، افزون بر بهره‌وری فیزیکی آب، بهره‌وری اقتصادی آب نیز محاسبه و نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که محصولات خیار، سیب‌زمینی، سیر، هندوانه، گوجه‌فرنگی، ذرت، کلزا، چغندرقند، نخود، یونجه، جو، گندم و لوبیا به ترتیب بیشترین تا کمترین مقدار بهره‌وری اقتصادی را به ازای یک مترمکعب آب داشته‌اند. با مقایسه نتایج بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب ملاحظه می‌شود که محصولاتی با بهره‌وری فیزیکی بالا الزاما دارای بهره‌وری اقتصادی بالایی نخواهند بود. به عنوان مثال ذرت با بیشترین بهره‌وری فیزیکی در رتبه ششم بهره‌وری اقتصادی آب قرار گرفته و بر عکس محصول خیار با رتبه ششم در بهره‌وری فیزیکی، رتبه نخست بهره‌وری اقتصادی را به خود اختصاص داده است.

جدول ۶- آثار سناریو های تغییر اقلیم بر بهره‌وری اقتصادی آب در دشت همدان-بهار (ریال بر متر مکعب)

Table 6- Impacts of climate change scenarios on economic productivity of water in Hamedan-Bahar plain (Rials/m^3)

محصول Crop	شرایط فعلی Current conditions	سناریو B1 Scenario B1	سناریو A2 Scenario A2	سناریو RCP2.6 Scenario RCP2.6	سناریو RCP8.5 Scenario RCP8.5
یونجه Alfalfa	1350.7	1339.1(-0.9)	1321.1(-2.2)	1341.8(-0.7)	1318.9(-2.4)
جو Barely	1200.3	1169.9(-2.5)	1139.3(-5.1)	1175.1(-2.1)	1134.7(-5.5)
لوبیا Bean	1065.9	1034.7(-2.9)	1016.1(-4.7)	1039.4(-2.5)	1012.6(-5)
خیار Cucumber	4400.5	4536.5(2.4)	4590.6(4.3)	4487.9(2.0)	4650(4.6)
سیر Garlic	3599.8	3539.5(-1.7)	3464.8(-3.8)	3551.4(-1.3)	3454.7(-4)
ذرت علوفه Forage maize	2062.4	2081.7(0.9)	2079.5(0.8)	2080.9(0.9)	2080.9(0.9)
نخود Pea	1432.6	1380.7(-3.6)	1350(-5.8)	1387.1(-3.2)	134.4(-6.2)
سیب زمینی Potato	3712.1	3672.1(-1.1)	3581.9(-3.5)	3684.7(-0.7)	3572.1(-3.8)
کلزا Rapeseed	1852.1	1827.7(-1.3)	1820.5(-1.7)	1829.9(-1.2)	1818.1(-1.8)
چغندر Sugar beet	1539.0	1558.7(1.3)	1583.6(2.9)	1554.8(1.0)	1587 (3.1)
گوجه فرنگی Tomato	2199.0	2263.3(2.9)	2303.9(4.8)	2255.1(2.6)	2311.9(5.1)
هندوانه Watermelon	2391.8	2433.4(1.7)	2440.9(2.1)	2430.2(1.6)	2444.7(2.2)
گندم Wheat	1162.2	1143.9(-1.6)	1133.2(-2.5)	1146.2(-1.4)	1131 (-2.7)
بهره‌وری اقتصادی آب Economic productivity of water: کل محصولات Total crops	2138.4	2220.8(3.96)	2369.4(11.1)	2200.6(2.98)	2406.7(12.6)
بهره‌وری اقتصادی آب Economic productivity of water: محصولات غذایی اساسی Basic food crops	2046	2127(3.86)	2273(10.8)	2107(2.9)	2310(12.9)

مأخذ: یافته‌های تحقیق   اعداد داخل پرانتز درصد تغییرات نسبت به شرایط فعلی است.

Source: Research findings   Numbers in parentheses are the percentage of changes compared to the current conditions

بنابراین رتبه سایر محصولات هم در هر دو بهره‌وری متفاوت است. از آنجا که در محاسبه بهره‌وری اقتصادی آب افزون بر عملکرد محصولات و مصرف آب، عواملی مانند قیمت و هزینه‌های متغیر دخیل هستند، لذا متفاوت بودن قیمت محصولات و هزینه‌های تولید همراه با تغییرات عملکرد و مصرف آب موجب متفاوت شدن بهره‌وری اقتصادی محصولات نسبت به بهره‌وری فیزیکی آب شده است.

با مقایسه سطح زیرکشت محصولات در الگوی فعلی ملاحظه می‌شود محصولاتی که بیشترین بهره‌وری اقتصادی را دارند الزاما" از بیشترین سطح زیرکشت برخوردار نیستند. بیشترین سطح زیرکشت را محصولاتی مانند گندم (۳۰ درصد) و جو (۲۳ درصد) و سپس سیب‌زمینی (۲۱ درصد)، یونجه (۱۹ درصد) و سیر (۴ درصد) به خود اختصاص داده‌اند که در این میان دو محصول گندم و جو از بهره‌وری اقتصادی پایینی برخوردار هستند. با توجه به این نتایج می‌توان گفت در دشت همدان-بهار ورود محصولات به الگوی کشت، بر اساس شاخص بهره‌وری اقتصادی و یا فیزیکی آب صورت نگرفته است. بلکه با بالا بودن سهم محصولات گندم و جو در الگوی کشت، معیار تأمین امنیت غذایی و تولید محصولات غذایی اساسی به عنوان مهمترین معیار انتخاب نمود پیدا می‌کند، هرچند که ریسک قیمتی پایین این محصولات به جهت قیمت تضمینی آنها نیز تأثیرگذار است. اما با توجه به بهره‌وری اقتصادی محصولاتی مانند خیار و هندوانه و سهم کم آنها از الگو، ملاحظه می‌شود که این معیار تنها در جهت تأمین درآمدهای کوتاه‌مدت و تأمین نقدینگی مورد اقبال قرار می‌گیرند. بنابراین کشاورزان در انتخاب محصولات در الگوی کشت صرفا معیارهای اقتصادی را ملاک قرار نمی‌دهند زیرا ملاک انتخاب محصولاتی مانند گندم و جو را می‌توان نیازآبی کم، ریسک قیمتی کم و در نهایت هدف تأمین غذائی اساسی ذکر کرد. پس کشاوران، بخش عمده فعالیت زراعی خود را برای تضمین حداقل شرایط اقتصادی، به این محصولات اختصاص داده و سپس به کشت محصولات دیگری از گروه سبزی و صیفی مانند سیب‌زمینی، هندوانه و خیار و دیگر محصولات می‌پردازند.

نتایج اثرات تغییر اقلیم بر بهره‌وری اقتصادی آب برای محصولات کشاورزی دشت همدان-بهار تحت سناریوهای مختلف آب و هوایی در جدول ۶ نشان می‌دهد که مشابه بهره‌وری فیزیکی، بهره‌وری اقتصادی آب برای محصولاتی مانند خیار، ذرت علوفه، چغندرقند، گوجه‌فرنگی و هندوانه تحت تاثیر تغییرات اقلیمی با افزایش و برای سایر محصولات با کاهش مواجه خواهند شد. در این میان بهره‌وری اقتصادی گوجه‌فرنگی و خیار بیشترین افزایش را بویژه در سناریوهای بدبینانه نشان می‌دهند. در ضمن تاثیر تغییر اقلیم در سناریوهای بدبینانه RCP8.5 مبتنی بر واداشت تابشی بیشتر از سناریوی A2 می‌باشد. این روند افزایش در بهره‌وری اقتصادی آب را با وجود ثابت بودن قیمت محصولات می‌توان به افزایش عملکرد این محصولات و کاهش مصرف آب نسبت داد. بعلاوه اینکه ارزش تولید نهایی این محصولات بیانگر ارزش اقتصادی آب یا همان قیمت سایه‌ای آب است و از آنجا که کشاورزان در مصرف آب در اکثر محصولات بی‌رویه عمل می‌کنند لذا کاهش مصرف آب موجب افزایش تولید نهایی آب خواهد شد. بنابراین آب ارزشمندتر شده و کاهش کمیت آب در اثر تغییرات اقلیمی، کشاورزان منطقه را به سمت مدیریت بهتر منابع آب در جهت بهبود بهره‌وری اقتصادی رهنمود می‌سازد. اما در سایر محصولات و از جمله محصولات استراتژیک با وقوع تغییرات اقلیمی و کاهش عملکرد چنین نتیجه‌ای رقم نمی‌خورد و بهره‌وری اقتصادی آنها کاهش خواهد یافت. با توجه به مطالب پیش‌گفته برآیند افزایش و کاهش بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات مختلف منجر به افزایش بهره‌وری اقتصادی آب در افق ۲۰۷۰ برای کل محصولات به میزان ۴، ۱۱/۱، ۳ و ۱۲/۶ درصد به ترتیب در سناریوهای B1، A2، RCP2.6 و RCP8.5 خواهد شد. چنین روند افزایشی مشابهی نیز در بهره‌وری اقتصادی آب برای کل محصولات غذایی اساسی مشاهده می‌شود.

محصولاتی مانند گندم، جو، سیب‌زمینی، یونجه و سیر که بیشترین سطح زیرکشت را در الگوها دارند با کاهش بهره‌وری اقتصادی ناشی از افزایش تغییرات اقلیمی در تمامی سناریوها مواجه خواهند شد. در این میان بیشترین و کمترین بهره‌وری اقتصادی آب به ترتیب مربوط به محصول جو و یونجه است. این یافته نشان می‌دهد که دشت همدان-بهار به عنوان تولیدکننده محصولات فوق نسبت به افزایش تغییرات اقلیمی و اثرات آن بر منابع آب حساس است. از طرفی نتایج نشان می‌دهد که سناریوی کاهش منابع آب در دسترس ناشی از تغییرات اقلیمی در تمامی سناریوهای اقلیمی برای برخی محصولات دشت همدان-بهار منجر به افزایش بهره‌وری اقتصادی یک متر مکعب مصرف آب می‌شود. بنابراین می‌توان از این نتایج به عنوان یک راهکار مناسب در مدیریت منابع آب منطقه مورد مطالعه نام برد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با هدف تحلیل و ارزیابی پیامدهای تغییرات اقلیم در دشت همدان-بهار تحت سناریوهای A2، B1، RCP2.6 و RCP8.5 در افق ۲۰۷۰ طرح ریزی شد. بدین منظور با برآورد تابع واکنش عملکرد محصولات نسبت به پارمترهای اقلیمی و اندازه‌گیری تغییرات عملکرد و لحاظ کردن آن در الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)، اثر سناریوهای مختلف تغییرات اقلیمی بر الگوی کشت منطقه، الگوی کشت محصولات غذائی اساسی، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب و شاخص‌های امنیت غذایی بررسی شد. نتایج حاکی از کاهش بارش و افزایش دمای سالانه و متعاقب آن افزایش

عملکرد محصولات گوجه‌فرنگی، خیار، هندوانه، چغندرقند، ذرت علوفه و هندوانه دیم و کاهش عملکرد محصولات گندم، جو، کلزا، یونجه، عدس، نخود، لوبیا، سیب زمینی و سیر در هر چهار سناریو است. افزون بر آن تأثیرپذیری منفی منابع آب از تغییرات اقلیمی در افق ۲۰۷۰، موجب کاهش عرضه منابع آب در منطقه خواهد شد.

همچنین وقوع پیامدهای منفی ناشی از تغییرات اقلیمی، موجب افزایش سطح زیرکشت محصولات دیم و کاهش سطح زیرکشت محصولات آبی در تمامی سناریوها شده است. با وجود ثابت ماندن سطح زیرکشت کل، حجم تولید کل محصولات و همین طور تولید محصولات استراتژیک در منطقه که تأمین‌کننده امنیت غذایی هستند در دوره آتی کاهش خواهد یافت. بعلاوه یافته‌های تحلیل اقتصادی نشان از کاهش بازده برنامه‌ای و تحمیل زیان به کشاورزان منطقه در سناریوهای مختلف دارد. که به دلیل سهم بالای محصولات غذایی اساسی از کل محصولات، بخش اعظم این زیان ناشی از کاهش بازده برنامه‌ای این محصولات استراتژیک خواهد بود. افزون بر این تحت تاثیر تغییرات اقلیمی در سناریوهای مختلف، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب استفاده شده در تولید کل محصولات و تولید محصولات غذایی اساسی، افزایش خواهد یافت.

بنابراین تحلیل پیامدهای یاد شده در کنار نتایج کاهش آب مصرفی توسط کشاورزان تحت سناریوهای اقلیمی در افق آینده نشان از این نکته دارد که کشاورزان در شرایط فعلی بیش از نیاز آبی و بصورت بی‌رویه آب را مصرف می‌کنند. لذا کاهش آب در دسترس ناشی از تغییرات اقلیمی، موجب خواهد شد کشاورزان در مصرف آب به نقطه بهینه مبتنی بر نیاز آبی نزدیک شوند و با کم شدن مصرف آب و بازگشت به ناحیه دوم اقتصادی تولید، تولید نهایی آب افزایش یابد که در اینجا موجب افزایش بهره‌وری خواهد شد. بنابراین آب ارزشمندتر شده و کاهش کمیت آب در اثر تغییرات اقلیمی، کشاورزان منطقه را به سمت مدیریت بهتر منابع آب در جهت بهبود بهره‌وری اقتصادی رهنمود می‌سازد. لذا می‌توان دریافت که وقوع این شرایط اقلیمی، موجب کاهش آب تخصیصی به فعالیت‌های کشاورزی در منطقه می‌شود و کشاورزان منطقه، در دهه‌های آینده با چالش کمبود منابع آب رو به رو خواهند شد که متعاقب آن تولیدات کشاورزی و درآمد کشاورزان با کاهش مواجه خواهد شد. بنابراین بخش کشاورزی نه تنها منبع تولید و تأمین مواد غذایی مورد تقاضای جمعیت رو به رشد جوامع است، بلکه منبع تأمین درآمد بخش اعظمی از خانوارهای همین جوامع نیز می‌باشد. لذا متاثر شدن این بخش از تغییرات اقلیمی از طریق کاهش تولید محصولات کشاورزی و درآمد کشاورزان، در دسترس بودن، ثبات یا پایداری عرضه مواد غذایی و دسترسی به مواد غذایی برای جمعیت روستایی و شهری و در نتیجه امنیت غذایی آنها را به خطر می‌اندازد. امنیت غذایی نه تنها عدم دسترسی به مواد غذایی به مقدار کافی است بلکه منابع پولی و غیرپولی در اختیار مردم است که جهت دسترسی به مقادیر کافی از مواد غذایی با کیفیت، لازم است. بنابراین از نتایج این مطالعه می‌توان استنباط نمود که تغییر شرایط اقلیمی با متأثر کردن عملکرد، سطح زیرکشت، تولید مواد غذایی و در نهایت درآمد کشاورزان هر چهار بعد امنیت غذایی را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

در حالی که هدف کشاورزان حداکثرکردن سود با توجه به منابع آب موجود است، وقوع تغییرات اقلیمی کاهش عملکرد و تولید کل محصولات آنها را رقم خواهد زد. لذا انتظار می‌رود که این پیامدها کشاورزان را برای اتخاذ برخی تصمیمات جهت حفظ و بهبود عملکرد و همینطور کاهش زیان‌های احتمالی تحمیل شده بر درآمد آنها و در نهایت امنیت غذایی منطقه تشویق نماید. بر همین اساس اتخاذ راهبردهای مناسب و سازگار با تغییرات آب و هوایی برای افزایش بهره‌وری آب از طریق بهبود مدیریت منابع آب در سطوح گیاه، مزرعه و حوضه آبریز ضرورت دارد. در سطح گیاه؛ افزایش تحمل گیاهان به تنش از طریق به کارگیری بذرهای اصلاح شده و مقاوم به خشکی، در سطح مزرعه؛ افزایش عملکرد، کاربرد کم‌آبیاری و کاهش مصرف فعلی آب متناسب با نیاز آبی گیاه (کشاورزان در شرایط فعلی برای برخی محصولات بیش از نیاز آبی را مصرف می کنند.)، اصلاح تاریخ کاشت و شخم به منظور کاهش تبخیر-تعرق، افزایش نفوذ آب در خاک، انتخاب محصولات با ارزش بالاتر با توجه به بهره‌وری اقتصادی آب و کاربرد تکنولوژی‌های نوین آبیاری، در سطح حوضه؛ استفاده مجدد از آب و بهبود الگوی کشت به منظور حداکثر کردن محصول و حداقل نمودن تبخیر-تعرق گیاهی.

منابع

1- Abbasi F., Naseri A., Sohrab F., Baghani J., Abbasi N. And Akbari M. 2015. Improving water productivity. Agricultural Technical and Engineering Research Institute, Agricultural Research, Training and Extension Organization, Journal of 34/94. (In Persian with English abstract)

2- Alcamo J., Dronin N., Endejan M., and Kirilenko A.P. 2007. A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia. Global Environmental Change 17(3-4): 429–444.

3- Alibakhshi H., Dourandish A., and Sabuhi Sabuni M. 2020. Investigating the Effects of Climate Change on the Agricultural Market. Agricultural Economics 13(4): 55-86. (In Persian with English abstract)

doi:10.22034/iaes.2020.113413.1719

4- Amiri M. J., Karbasi Ab., Zoghi M., and Sadat M. 2015. Detection of climate changes by mann-kendall analysis and drought indexes (Case study: Agh Gol wetland). Journal of Environmental Studies 41(3): 545-561. (In Persian with English abstract)

5- Anonymous. 2009. Annual report of groundwater resources of hamadan-bahar plain, studies company water resources hamdan. Shares Company Regional Water Hamadan province.

6- Attavanich W., and McCarl A.B. 2011. The effect of climate change, co2 fertilization, and crop production technology on crop yields and its economic implications on market outcomes and welfare distribution. The Agricultural and Applied Economics Association's 2011 AAEA & NAREA Joint Annual Meeting, Pittsburgh, Pennsylvania, July 24-26.

7- Balali H., Khalilian S., Viaggi D., Bartolini F., and Ahmadian M. 2011. Groundwater balance and conservation under different water pricing and agricultural policy scenarios: A case study of the Hamedan-Bahar plain. Ecological Economics 70: 863-872. (In Persian with English abstract)

8- Barani N. and Karami A. 2019. The Impacts of Climate Change on Total Agronomical Production in Tenfold Agro-ecological Zones of Iran. Journal of Agricultural Economics and Development 33(1): 95-107. (In Persian with English abstract)

9- Batisani N., 2012. Climate variability, yield instability and global recession: the multistressor to food security in Botswana. Climate Development 4: 129–140.

10- Cairns J.E., Crossa J., Zaidi P.H., Grudloyma P., Sanchez C., Araus J.L., Thaitad S., Makumbi D., Magorokosho C., Bänziger M., Menkir A., Hearne S., and Atlin G.N. 2013. Identification of drought, heat, and combined drought and heat tolerant donors in maize. Crop Science 53: 1335–1346. http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2012.09.0545.

11- Cashman A. 2014. Water security and services in the Caribbean. Water 6:1187–1203.

12- Chang C.C., Chen C.C., and McCarl B. 2012. Evaluating the economic impacts of crop yield change and sea level rise induced by climate change on Taiwan's agricultural sector. Agricultural economics 43:206–214.

13- Cohen I.S., Arriaga G.E., Valle M.A.V., Ibarra M.A.I., Villalobos A.M., and Hurtado P.B. 2014. Climate based risk assessment for maize producing areas in rainfed agriculture in Mexico. Journal Water Resource Protection 6:1228. http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2014. 613112.

14- Cortignani R., and Severini S. 2009. Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using positive mathematical programming. Agricultural Water Management 96: 1785–91.

15- Gohar A.A., Ward F.A. and Amer S.A. 2013. Economic performance of water storage capacity expansion for food security. Journal Hydrology 484: 16–25.

16- Gohar A.A., Amer S.A., and Ward F.A. 2015. Irrigation infrastructure and water appropriation rules for food security. Journal Hydrology 520: 85–100.

17- Gohar A.A., and Cashman A. 2016. A methodology to assess the impact of climate variability and change on water resources, food security and economic welfare. Agricultural Systems 147: 51-64.

18- Golan A., Judge G., and Miller D. 1996. Maximum entropy econometrics: Robust estimation with limited data. New York: John Wiley and Sons.

19- Hammer G.L., Hansen J.W., Phillips J.G., Mjelde J.W., Hill H., Love A., and Potgieter A. 2001. Advances in application of climate prediction in agriculture. Agricultural System 70: 515–553.

20- He L., Tyner W.E., Doukkali R., and Siam G. 2006. Policy options to improve water allocation efficiency: analysis on Egypt Morocco. Water International 31(3): 320-337.

21- Hosseini S.S., Nazari M. and Araghinejad S. 2013. Investigating the impacts of climate on agricultural sector with emphasis on the role of adaptation strategies in this sector. Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research 44(1): 1-16. (In Persian with English abstract)

22- Howitt R.E. 1995. Positive mathematical-programming. American Journal Agricultural Economics 77: 329–342.

23- Howitt R.E., Medellín-Azuara J., MacEwan D., and Lund J.R. 2012. Calibrating disaggregate economic models of agricultural production and water management. Environmental Modeling and Software 38: 244-258.

24- Innes P.J., Tan D.K.Y., Van Ogtrop F., and Amthor J.S. 2015. Effects of high-temperature episodes on wheat yields in New South Wales, Australia. Agricultural Forest Meteorology 208: 95–107, doi: 10.1016/J. AGRFORMET.2015.03.018.

25- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.

26- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY, USA, 1132 pp.

27- Junk W. 2013. Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change. Aquatic Science 75(1): 113–131.

28- Knox J., Hess T., Daccache A., and Wheeler T. 2012. Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. Environmental Research Letters 7: 034032.
29- Lehmann N., Finger R., Klein T., Calanca P., and Walter A. 2013. Adapting crop management practices to climate change: modeling optimal solutions at the field scale. Agricultural System 117: 55-65.
30- Lobell D.B., Banziger M., Magorokosho C. and Vivek B. 2011. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. Nature Climate Change 1: 42–45.
31- Lu Y., Hao Z., Xie C., Crossa J., Araus J. L., Gao S., Vivek B.S., Magorokosho C., Mugo S., Makumbi D., Taba S., Pan G., Li X., Rong T., Zhang S., and Xu Y. 2011. Large-scale screening for maize drought resistance using multiple selection criteria evaluated under water-stressed and well-watered environments. Field Crops Resource 124: 37–45. http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.003.
32- Madani K. 2014. Water management Iran: what is causing the looming crisis? Journal of Environmental Studies and Sciences 4(4): 315-328.
33- Mainuddin M., Kirby M., and Qureshi E. 2007. Integrated hydrologic–economic modelling for analyzing water acquisition strategies in the Murray River Basin. Agricultural Water Management 93(3): 123-135.
34- Makuvaro V., Walker S., Masere T. P. and Dimes J. 2018. Smallholder farmer perceived effects of climate change on agricultural productivity and adaptation strategies. Journal of Arid Environmental 152: 75–82.
35- Massah Bavani A. R. and Morid S. 2006. Impact of Climate Change on the Water Resources of Zayandeh Rood River. Journal of Water and Soil Science 9(4): 17-28. (In Persian with English abstract)
36- Mavromatis T. 2015. Crop–climate relationships of cereals in Greece and the impacts of recent climate trends. Theoretical and Applied Climatology 120: 417–432.
37- Medellin-Azuara J., Howitt R.E., and Harou J.J. 2012. Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. Agricultural Water Management 108:73–82.
38- Mitchell T. D., Carter T. R., Jones P., Hulme M., and News M. 2004. A comprehensive set of climate scenarios for Europe and the globe. Working Paper 55. Tyndall Centre for Climate Change Research.
39- Moridi A. 2017. State of Water Resources in Iran. International Journal of Hydrology 1(4):1- 5.
40- Mosaedi A. and Kahe M. 2009. Investigating the effect of rainfall on wheat and barley crop yields in Golestan province. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 12(4):206-218. (In Persian with English abstract)
41- Mosavi S. H., Soltani S. and Khalilian S. 2020. Coping with climate change in agriculture: Evidence from Hamadan-Bahar plain in Iran. Agricultural Water Management 241:106332. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106332
42- Movahedi S., Asakereh H., Sabziparvar Masoodian S.A., and Maryanji Z. 2013. Investigating the Changes of Seasonal rainfall pattern in Hamedan province. Geographical Research 28(2): 33-48. (In Persian with English abstract)
43- Mushtaq S., Marasenia T.N., and Reardon-Smith K. 2013. Climate change and water security: estimating the greenhouse gas costs of achieving water security through investments in modern irrigation technology. Agricultural System 117: 78–89.
44- Myers S., Zanobetti A., Kloog I., Huybers P., Leakey A., Bloom A., Carlisle E., Dietterich L., Fitzgerald G., Hasegawa T., Holbrook N., Nelson R., Ottman M., Raboy V., Sakai H., Sartor K., Schwartz J., Seneweera S., Tausz M. and Usui Y. 2014. Increasing CO2 threatens human nutrition. Nature 510:139–142. doi:10.1038/nature13179.
45- Nakashima T. 2011. Positive mathematical programming for farm planning: review. Japan Agricultural Research Quarterly 45:251–258.
46- Nikouei A. 2012. Integrated Economic-Hydrologic Modeling of Water Allocation and Use in Zayandeh-Rud River Basin with Emphasis on Evaluation of Environmental and Drought Policies. Shiraz University, Shiraz, Iran, 271pp. (In Persian with English abstract)
47- Palazzoli I., Maskey S., Uhlenbrook S., Nana E., and Bocchiola D. 2015. Impact of prospective climate change on water resources and crop yields in the Indrawati, Nepal. Agricultural System 133: 143–157.
48- Paris Q., and Howitt R.E. 1998. An analysis of ill-posed production problems using maximum entropy. American journal of agricultural economics 80(1): 124-138.
49- Parry M.L., Rosenzweig C., Iglesias A., Livermore M., and Fischer G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. Global Environmental Change 14:53-67. doi:10.1016/j.gloenvcha.2003.10.008.
50- Paterson R.R.M., and Lima N. 2010. How will climate change affect mycotoxins in food?. Food Research International 43(7): 1902-1914.
51- Potopová V., Zahradníček P., Štěpánek P., Türkott L., Farda A., and Soukup J. 2017. The impacts of key adverse weather events on the field-grown vegetable yield variability in the Czech Republic from 1961 to 2014. International Journal Climatology 37: 1648–1664.

52- Preckel P.V., Harrington D., and Dubman R. 2002. Primal/dual positive math programming: illustrated through an evaluation of the impacts of market resistance to genetically modified grains. American Journal Agricultural Economics 84: 679–690.
53- Ramirez-Villegas J., and Challinor A. 2012. Assessing relevant climate data for agricultural applications. Agricultural and Forest meteorology 161: 26–45.
54- Sabouhi M., and Ahmadpour M. 2012. Estimation of Iran agricultural products demand functions using mathematical programming (Application of maximum entropy method). Journal of agricultural Economics 6(1): 71-91. (In Persian with English abstract)
55- Sarker M.A.R., Khorshed A., and Gow J. 2012. Exploring the relationship between climate change and rice yield in Bangladesh: an analysis of time series data. Agricultural System 112: 11–16.
56- Shahid S. 2011. Impact of climate change on irrigation water demand of dry season Boro rice in Northwest Bangladesh. Climate Change 105: 433–453.
57- Soltani S., and Mosavi S.H. 2015. Evaluating the potential effects of climate changes on yield and value-added in the agricultural sector in Hamedan-Bahar plain. Journal of Agricultural Economics 9(1): 95-115. (In Persian with English abstract)
58- Soltani S., and Mosavi S.H. 2016. Evaluating the potential effects of climate change on groundwater resources of Hamadan-Bahar plain. Journal of Agricultural Economics Research 8(2): 95-112. (In Persian with English abstract)
59- Sultana H., Ali N., Iqbal M.M., and Khan A. 2009. Vulnerability and adaptability of wheat production in different climatic zones of Pakistan under climate change. Journal of Climatic Change 94: 123–142.
60- Thorlakson T., and Neufeldt H. 2012. Reducing subsistence farmers’ vulnerability to climate change: Evaluating the potential contributions of agroforestry in western Kenya. Agriculture and Food Security 1(1): 1-13.
61- Varela-Ortega C., Blanco-Gutiérrez I., Swartz C.H., and Downing T.E. 2011. Balancing groundwater conservation and rural livelihoods under water and climate uncertainties: an integrated hydro-economic modeling framework. Global Environmental Change 21(2): 604–619
62- Wang X. 2014. Advances in separating effects of climate variability and human activity on stream discharge: an overview. Advances in Water Resources 71: 209–218.
63- Wangchuk S., and Siebert S.F. 2013. Agricultural change in Bumthang, Bhutan: market opportunities, government policies, and climate change. Society & Natural Resources 26(12): 1375–1389.
64- Wheeler T. and von Braun J. 2013. Climate change impacts on global food security. Science 341: 508–513.
65- World Bank 2010. World Development Report 2010: Development and Climate Change. World Bank, Washington, DC.
66- Yadav S.S., Hunter D., Redden B., Nang M., Yadav D.K., and Habibi A.B. 2015. Impact of Climate Change on Agriculture Production, Food, and Nutritional Security. Crop Wild Relatives and Climate Change, Eds R. Redden, S.S. Yadav, N. Maxted et al. (2015) John Wiley & Sons, Inc. pp. 1–23.
67- Zareabyaneh H., Bayatvarkeshi M., and Yazdani V. 2011. Trend analysis of annual and seasonal temperature, precipitation and drought in Hamedan province. Journal of Irrigation and Water Engineering 1(3): 47-58. (In Persian with English abstract)

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 34, No. 3, Fall 2020, p. 305-323

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۳۲۳-۳۰۵

Assessing the Impact of Climate Change on Agriculture in Hamedan-Bahar Plain with Emphasis on Water Productivity and Food Security

F. Moazzezi[1*]- G.R. Yavari[2] - S.H. Mosavi[3]- M. Bagheri[4]
Received: 13-06-2020
Accepted: 04-08-2020

Introduction: The potential impacts of climate change on water resources and food security are receiving growing attention especially in regions that face growing challenges like water demands for agricultural, domestic and environmental uses. The anticipated climate change are likely to impact water resources (surface water and groundwater) by altering precipitation patterns and change in nature of rainfall regimes. Apart from the effects on water availability, climate change is expected to adversely affect crop productivity, food security and food producers' income. Climate changes could affect the four dimensions of food security; food availability, access, utilization, and stability. Therefore, this study aims at investigating the economic effects of climate change on the agricultural sector (including the yield of crops, water resources, food security and profitability) in Hamadan-Bahar plain. The hypothesis tested in this research is that climate change has negative impacts on the agricultural sector in the study area and it is necessary to present solutions to reduce these effects. Accordingly, the question answered in this study is whether climate changes in the region reduces crop yields, the profitability of the agricultural sector, and aggravate the scarcity of water resources. For this purpose in this study, the effects of climate change in different scenarios on regional cultivation pattern, basic food cultivation pattern, gross profit of farmers, physical and economic productivity of water and food security in Hamedan-Bahar plain have been investigated and then various suggestions to these problems have been presented.

Materials and Methods: For this purpose, the physiological, hydrological and meteorological aspects of the problem were integrated into an economic model and the changes in cultivation pattern of the plain were projected in counterfactual climatic scenarios. Accordingly, the outputs of the HadCM3 model under the scenarios of B1 (optimistic) and A2 (pessimistic) were utilized for the fourth report; additionally, the outputs of the ensemble model under RCP 2.6 (optimistic) and RCP 8.5 (pessimistic) scenarios were used for the fifth report of IPCC. Then, the variables of rainfall and temperature for the horizon of 2070 were predicted under scenarios B1, A2, RCP2.6 and RCP8.5 using the Lars-WG model. In this regard, the yield response functions of the products with respect to climatic parameters by the Generalized Maximum Entropy method (GME) were estimated and the elasticity of the yield of the products with regard to temperature and rainfall were calculated. Then products yield changes on the 2070 horizon under different climate change scenarios were predicted and by including it in a positive mathematical programming (PMP), the impact of different climate change scenarios on regional cultivation pattern, basic food cultivation pattern, gross profit of farmers, physical and economic productivity of water and food security were examined. To estimate the yield response regression model and predict climate changes by LARS_WG model, the data on the period 1982-1982 were used. Also the data and information of farmers were obtained using a two-stage cluster sampling method in 2018 (baseline).

Results and Discussion: The results indicate an increase in temperature, a decrease in precipitation, a decrease in the supply of water resources, and consequently a decrease in the yield of most basic food products and an increase in the yield of some vegetable and summer crops were anticipated in all scenarios. The results also showed that the occurrence of the mentioned consequences has negative effects on the total production of crops, the amount of production of basic food products and the gross profit of farmers in the region. And in this regard, in the most pessimistic scenario on the horizon of 2070, it will impose a loss of 490 billion rials on farmers. The increase in the physical and economic efficiency of water in different scenarios shows that water is becoming more valuable due to the decrease in the quantity of water due to climate change. Therefore the economic value of water would increase in the future decades in Hamadan-Bahar plain, which itself represents the severity of water scarcity in the agricultural sector.

Conclusion: The occurrence of climate change by affecting water resources, crop yields, cultivated area,

1, 2 and 4- Instructor and Ph.D. Student, Associate Professor and Assistant Professor of Agricultural Economics, University of Payame Noor, Tehran, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: f_moazzezi@yahoo.com)
3- Associate Professor of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran

food production and ultimately farmers' incomes, in addition to imposing economic and environmental losses, would affect various aspects of food security such as food availability, access, stability and utilization. Accordingly, in order to maintain and improve the yield of crops and reduce the possible losses imposed on income and food security of the region, it is vital to adopt appropriate strategies compatible with climate change, including the use of new irrigation technologies, deficit irrigation methods and to reform the cultivation pattern by selecting products with higher economic value in order that increase water productivity. Finally improving management of water resources and farmers' income at the plant, farm and region levels, is crucial.

Keywords: Climate change, Cultivation pattern, Food security, Hamedan-Bahar plain, Positive mathematical planning, Water productivity